

发电设备运行虚拟仿真平台的构建和应用

吴懋亮*, 李汝润, 宋明, 郎咸集

上海电力大学, 能源与机械工程学院, 上海

Email: *wumaoliang@shiep.edu.cn

收稿日期: 2020年8月18日; 录用日期: 2020年8月27日; 发布日期: 2020年9月3日

摘要

发电设备运行实践教学存在电厂系统实体难于分解、实体实验平台建设成本高、实验的安全性保障难等问题, 虚拟仿真实践系统依托虚拟现实、多媒体等技术, 构建1000 MW超超临界火电机组1:1全范围虚拟仿真实践教学平台, 实现了火电机组漫游、超超临界机组仿真运行、典型故障处理等关键实践教学内容, 对提升学生的实践能力具有重要的现实意义。

关键词

发电设备运行, 虚拟仿真, 实践教学

Construction and Application of Virtual Simulation Teaching Platform for Thermal Power Plant Operation

Maoliang Wu*, Rurun Li, Ming Song, Xianji Lang

School of Energy and Mechanical Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai

Email: *wumaoliang@shiep.edu.cn

Received: Aug. 18th, 2020; accepted: Aug. 27th, 2020; published: Sep. 3rd, 2020

Abstract

There are some problems in the experimental operation of thermal power plant, such as the difficulty of decomposing the system entity, the high cost of constructing the experiment platform, and the difficulty of ensuring the safety of the experiment. The virtual system constructs an 1:1 full-scale virtual simulation practice teaching platform for 1000 MW ultra-supercritical thermal power unit

*通讯作者。

based on virtual reality and multimedia technology to realize the key practical teaching contents of Thermal Power Unit Walkthrough, ultra supercritical unit simulation operation, typical fault treatment and so on. It is of great practical significance to improve students' practical ability.

Keywords

Thermal Power Plant Operation, Virtual Simulation, Practical Teaching

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

电力行业作为国计民生的支柱行业，急需大量的具有扎实基础理论知识并具有丰富实践能力的工程师，为提高学生的实践能力，实践教学的形式与质量是重中之重。发电设备运行以可靠性和安全性为核心要求，为保证电力站安全、高效、经济运行以及人员的安全，现场实践对于学生来说“只能看不能动”，这给实践教学都带来了很大的困难。随着计算机技术的发展，依托虚拟现实、多媒体、人机交互、数据库和网络通讯等技术，利用虚拟仿真技术拓展实验教学内容的广度和深度，延伸实验教学的时间和空间，提升实验教学的质量和水平，解决电力行业现场教学难的问题，在培养优质电力行业工程技术人才中发挥重要作用[1] [2] [3]。相比传统实验教学，虚拟实验教学不受时间、地点限制，可随时随地进行虚拟实验学习、信息交流和经验分享，教学过程中学生可以根据自身情况安排实验进程，调整实验参数，验证理论知识。同时虚拟实验教学不存在物质消耗，也不会因为操作失误或其他不可预见性变化导致实验失败，造成经济损失，甚至发生安全事故[4]。

2. 发电设备运行虚拟仿真教学的必要性

我国电力产业发展居世界领先水平，2019年全国发电装机容量201,066万千瓦，比上年末增长5.8%。其中，火电装机容量119,055万千瓦，并网风电装机容量21,005万千瓦，增长14.0%；并网太阳能发电装机容量20468万千瓦，增长17.4% [5]。数据显示火电装机容量占总发电装机容量的59.2%，仍然占据电力生产的主导地位，但风电、太阳能发电等增长迅速，清洁能源消纳比重逐步提升，形成多种发电形式相互支撑，发电侧、供电侧和用电侧相互交叉、高度融合的电力发展现状，这种现状对工程人员解决复杂工程问题的能力提出了更高要求，高等教育需要培养理论知识和实践能力相结合的复合型人才。

由于发电设备运行存在高温高压特性，实践教学存在复杂的电厂系统实体难于分解、实体实验平台建设成本高、实验的安全性保障难等问题，电力类高等院校难以建立全真实生产性“校中厂”实训基地，大部分大容量机组的火电厂目前只能参观实习，学生只能进行场外工作或现场观摩，与实践教学计划的要求差异较大，无法满足学生从事电厂运行等相关工作的工程实践要求[6] [7]。发电设备运行虚拟仿真实践平台可以根据专业实践项目内容、形式和目的，进行专业理论学习的验证实验、结合现场教学的仿真实习、多课程知识综合运用创新设计等实践教学内容，通过虚拟仿真实践教学，可以破解目前实践教学的瓶颈问题，通过虚拟建模设计，可以使认识不同类型发电设备及发电过程；通过发电机组的虚拟运行，可以使掌握与发电过程相关的专业理论课程教学中的原理及特性，如发电设备工作原理及运用特性、机组节能减排的理论基础及工艺措施；通过虚拟设备的操作和调试，可以使掌握与发电

过程相关专业所需基本技能，如发电机组的集控运行、发电机组控制逻辑分析、设计及组态等；从而帮助学生了解发电行业运行规程和设计规范，培养学生的工程设计意识和创新能力。

3. 发电设备运行虚拟仿真实实践教学平台的构建

上海电力大学发电设备运行虚拟仿真实实践教学平台依托校园网信息化系统，构建高度仿真的虚拟实验环境和实验对象，使学生可在虚拟仿真环境中开展发电设备运行虚拟仿真实实践教学。

3.1. 虚拟仿真实实践教学平台构架

虚拟仿真实实践教学平台系统整体上采用 B/S 结构，用户界面通过 Web 浏览器访问。系统的三大构成框架分别是：用户端、管理端和实验端。它们为用户提供统一实验操作界面，并对用户和实验信息进行统一教学管理。在这一设计前提的指引下，用户端负责实验场景的模拟和显现，服务器端负责用户信息管理和实验数据转发，实验端负责虚拟实验数据仿真和结果返回，实施过程如图 1 所示。

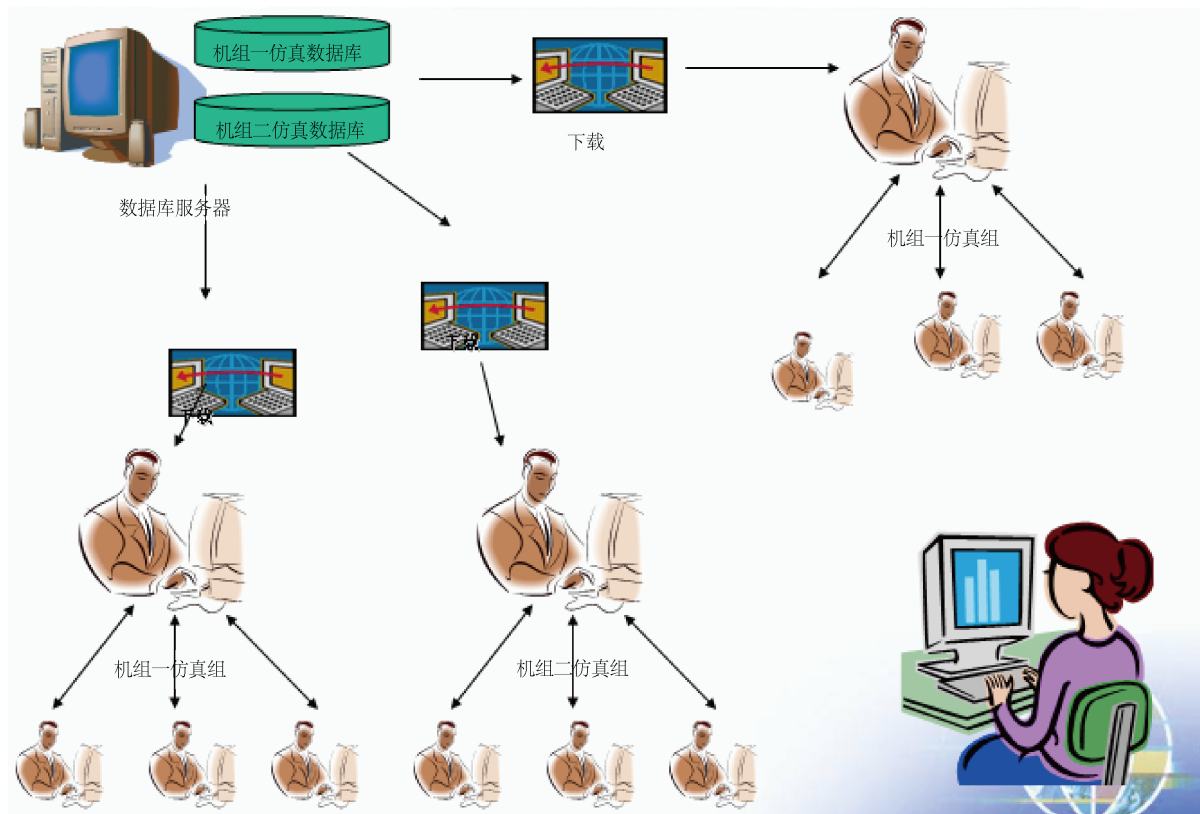


Figure 1. Implementation process of virtual simulation teaching
图 1. 虚拟仿真教学实施过程

3.2. 虚拟仿真实实践教学平台的主要功能

上海电力大学发电设备运行虚拟仿真实实践教学平台实现对 1000 MW 超超临界火电机组 1:1 全范围仿真，模拟各系统及设备的运行和调节特性；真实反映故障的现象及处理过程的动态响应。利用该仿真系统可对学校学生、教师和发电厂在职人员进行机组的启停、正常运行和典型故障处理等全方位教学实践，使学生了解其运行特性，并可结合机组实际工况，分析运行方式，制定反事故措施。

3.3. 虚拟仿真实践教学的实施

发电设备运行实验的每个阶段物理现象复杂、知识点多,理论抽象晦涩,各种影响因素错综复杂。理论教学与实验教学对学生知识的获取、能力的培养与拓展起着重要的作用。将理论讲解与故障虚拟仿真模拟实验相结合,可以更好地理解发电设备运行的现象和过程,强化教学效果。课堂讲解发电设备运行的理论知识;在虚拟场景中进行火电机组漫游模拟,熟悉发电设备的布置、结构和组成;学生利用发电设备运行虚拟仿真软件进行设备仿真运行,并在实验过程中通过修改发电设备运行参数、设置控制系统的安全保护整定值、停机控制系统的控制逻辑和跳闸各类泵阀等关键设备的运行状态,研究分析这些状态变化对设备运行的影响并获得影响规律。通过发电设备运行模拟实验可以让学生更形象深入地掌握发电设备运行的状态,更形象生动的体验发电设备故障分析的全过程,提出有效的防范与处置方案,深入理解事故预防和缓解措施,深入了解发电设备故障分析。

4. 虚拟仿真教学的实践

针对发电设备运行的教学内容,利用火力发电厂虚拟仿真软件进行火电机组的运行仿真,研究分析不同工作状态变化对发电设备运行进程的影响,学生根据由浅入深的教学要求,可以逐步实现火电机组漫游、1000 MW 超超临界机组仿真运行、典型故障处理等功能。

4.1. 火电机组漫游

采用仿真模拟典型的火电机组,通过仿真技术模拟典型工作任务。学生在三维虚拟场景中规划火电机组漫游路径(图 2),多维度、全流程、全范围虚拟火电机组生产流程的各个环节和主要生产设备,熟悉电厂设备的布置、结构和组成,了解电厂的主要热力系统与相关理论知识。使学生对 1000 mw 超超临界机组工艺原理、设备组成、结构功能、生产过程形成更深的理解。虚拟仿真漫游系统克服了由于电厂的安保限制以及设备保温材料、外围建筑的保护等因素而导致的学生对工厂设备外形、结构、组成部件难以有完整的认识的问题。

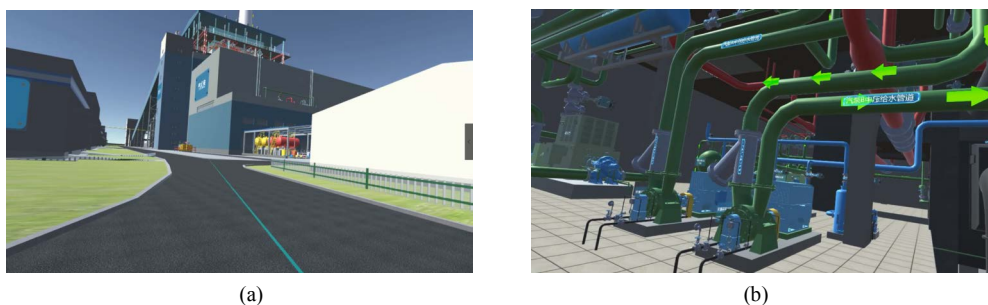


Figure 2. 3D virtual scene of thermal power plant. (a) Panoramic roaming of thermal power plant; (b) Internal roaming of thermal power unit

图 2. 火电厂三维虚拟场景。(a) 电力企业全景漫游; (b) 火电机组内部漫游

4.2. 1000 MW 超超临界机组仿真

1000 MW 超超临界机组仿真系统数学模型涵盖能获得火力发电厂变化的锅炉模型、汽轮机模型以及热工控制系统模型,各热力系统的数学模型均严格遵守工质不同相域的能量、质量和动量守恒定律,能够如实反映工质的热力学特性,图 3 为仿真系统 DCS 控制界面。学生通过仿真系统可以实现机组各种运行工况的仿真(即全工况模型),包括各种启停操作、正常运行和故障运行工况的仿真,通过仿真控制室监视设备(包括:仪表、指示灯、DCS 操作员站和就地操作站等)观测到的运行人员的操作结果(正确操作或

误操作)与实际机组相一致。同时,仿真系统完全复现实际机组的逻辑关系,包括控制逻辑、辅机顺控逻辑、各种联锁保护逻辑等。火力发电厂的控制系统整定值由学生根据具体的对象具体设计,以体现不同控制系统、不同安全整定值对事故进程的影响。

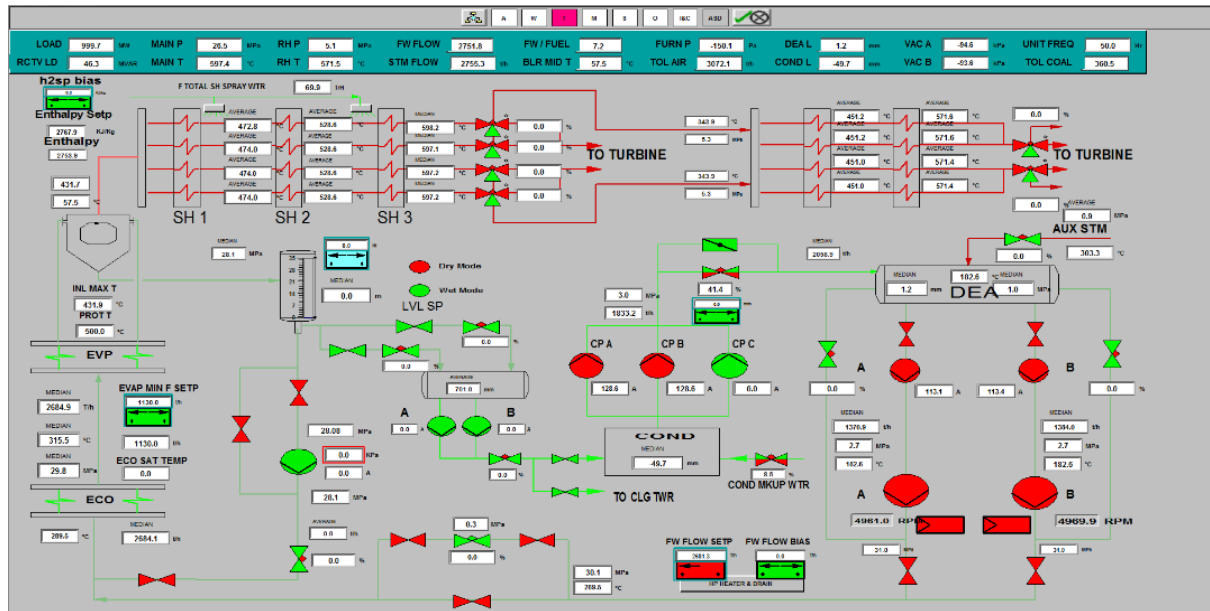


Figure 3. DCS control interface of simulation system

图 3. 仿真系统 DCS 控制界面

4.3. 典型故障仿真模拟

火电机组运行故障分析和处理是传统实践教学难以实现的一个教学环节,利用与实际机组控制面板相同的 1:1 全范围仿真平台,依据现场实际运行数据动态模拟故障现象,可以实操演练故障处理程序,并进行故障原因分析。如属于火力发电厂极限事故之一的过热器爆管故障,包括 4 个连续的阶段,将理论讲解与故障虚拟仿真模拟实验相结合,可以更好地理解过热器爆管故障的现象和过程。

故障仿真实施过程中,选取准备插入的故障,设定故障参数和插入时间,然后可以运行程序进行故障模拟。通过选取火力发电厂系统的功率、压力、流量和温度等主要参数,可以观察并记录上述主要参数的变化过程,了解故障的发展进程,判断故障发生的位置,并在虚拟仿真平台的 DCS 画面中采取一定的操作步骤,进行合理的处理,在三维虚拟现实画面中,找到故障发生的设备及其相关联的设备和系统,确认故障发生的位置(如图 4),提出合理的反故障措施。

通过火力发电厂过热器爆管故障分析模拟实验可以让学生更形象深入地掌握发电设备运行的状态,更生动地体验火力发电厂过热器爆管故障分析的全过程,提出有效的防范与处置方案,理解事故预防和缓解措施,了解锅炉故障分析。

4.4. 考核和评价体系

虚拟仿真教学的学习效果根据学生完成虚拟仿真项目后提交的模拟实验报告进行考核和评价。评价体系由学习状态、实验技能和实验报告三部分组成。在实验技能考核部分,以项目任务方式,设计每个故障实验的任务,详细列出每一阶段、每一步骤完成的各项任务;结合本科教学的需要,考查学生是否做到清晰描述系统工作原理、完整、准确记录实验数据、准确描述故障现象、合理分析事故过程等,全

面考核学生将专业知识应用于工程实际的能力和面向生产一线的动手操作能力。



Figure 4. 3D virtual reality picture of equipment failure

图 4. 设备故障三维虚拟现实画面

4.5. 实施效果

虚拟仿真实践平台有效地解决了能源动力类专业学生去现场实习时，学生不能实际操作、不能在故障现场学习等现实问题。

1) 应用虚拟现实技术，融合火电厂大场景，实现火电机组的虚拟漫游，使学生生动形象地了解火电厂的生产现场、工艺流程，通过工业级仿真虚拟平台的实操演练和分析，提高学生将专业知识应用于工程实际的能力和面向生产一线的动手操作能力，培养与企业需求相一致的应用型专业人才。

2) 以职业岗位的知识结构和能力要求为核心，围绕真实的电厂工作过程选取典型的机组故障案例。采用模块化思想设计实验方案，利用三维虚拟现实平台，将知识点附加于三维模型之上，通过沉浸式教学，直观了解与故障相关的设备和系统在生产现场的布局和在电站生产中的作用，利用与实际机组控制面板相同的 1:1 全范围仿真平台，依据现场实际运行数据动态模拟故障现象，实操演练故障处理程序，进行故障原因分析。根据每个典型故障的实验内容设计具体的实验步骤。

3) 学生按阶段布置各项任务，通过仿真平台的分组演练和讨论、实验报告的数据记录整理与故障分析等不同环节的要求，由易到难、循序渐进地完成一系列任务，培养学生将理论知识应用于工程实际解决问题的能力。

5. 结语

虚拟仿真实验教学不仅节约了实验教学成本，更是对传统教学理念、教学模式、教学方法和手段的深刻变革。通过构建发电设备运行虚拟仿真实践教学平台，解决了学生现场实践“只能看不能动”的困难。1000 MW 超超临界火电机组 1:1 全范围虚拟仿真实践教学平台多维度、全流程、全范围虚拟火电机组生产流程的各个环节和主要生产设备，提高了学生的实践能力、信息化应用能力、创新能力和综合素质，提高了应用型电力人才的培养成效。

基金项目

上海市教育科研规划项目 C18110: 《面向新工科的工程实践教学体系与实践平台构建》。

参考文献

[1] 张宁, 赵毅强, 兰旭博, 侯晓鑫. “新工科”背景下关于虚拟仿真实验的几点思考和建议[J]. 实验技术与管理,

2020, 37(3): 185-188

- [2] 唐华芳, 曹蕾, 王梦豪. 虚拟仿真实训平台评价机制及指标体系的构建研究[J]. 中国教育信息化, 2020(4): 88-92.
- [3] 郭婷, 杨树国, 江永亨, 黄开胜. 虚拟仿真实验教学项目建设与应用研究[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(10): 215-217.
- [4] 董健, 张利, 金焱立, 等. 《微机械设计与制造》虚拟实验教学研究[J]. 教育进展, 2018, 8(3): 226-236.
- [5] 国家统计局. 中华人民共和国 2019 年国民经济和社会发展统计公报[R]. 2020.2.28
- [6] 王进仕, 赵媛媛, 种道彤, 严俊杰. 火电机组虚拟仿真实验教学的建设与实践[J]. 高等工程教育研究, 2019(增刊 I): 201-203.
- [7] 赵建立, 程菲, 李英杰. 能源与动力工程专业虚拟仿真型生产实习教学模式研究[J]. 教育教学论坛, 2019(12): 41-42.